

**PENGARUH PENDINGINAN UDARA TERHADAP KEKERASAN
DARI PROSES SOLIDIFIKASI BESI COR KELABU
DENGAN CETAKAN PERMANEN**



Oleh :

**M.DEBI SETIAWAN
D200110118**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH PENDINGINAN UDARA TERHADAP KEKERASAN
DARI PROSES SOLIDIFIKASI BESI COR KELABU
DENGAN CETAKAN PERMANEN**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

M.DEBI SETIAWAN

D200110118

Telah diperiksa dan disetujui untuk di uji oleh:

Dosen Pembimbing



Agus Yulianto, ST. MT

NIK. 700

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PENDINGINAN UDARA TERHADAP KEKERASAN
DARI PROSES SOLIDIFIKASI BESI COR KELABU
DENGAN CETAKAN PERMANEN**

OLEH

M.DEBI SETIAWAN

D200110118

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Sabtu, 22 Oktober 2016

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Agus Yulianto, ST. MT

(Ketua Dewan Penguji)

2. Dr. Supriyono

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Ir. Ngafwan, MT

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)



Dekan

Dr. Supriyono, MT., Ph.D


NIK.682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Naskah Publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 4 November 2016

Penulis


M.DEBI SETIAWAN

D200110118

PENGARUH PENDINGINAN UDARA TERHADAP KEKERASAN DARI PROSES SOLIDIFIKASI BESI COR KELABU DENGAN CETAKAN PERMANEN

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju pendinginan pada solidifikasi besi cor kelabu dalam cetakan permanen untuk tapping awal. Penelitian ini menggunakan cetakan permanen besi cor ductile (FCD). Metodologi penelitian ini dilakukan dengan melting besi cor dalam tungku induksi kemudian di tuang pada cetakan FCD yang sudah di preheating dengan suhu tertentu untuk membuat specimen besi cor kelabu kemudian di uji sifat-sifat fisis dan mekanis. Pengujian dalam bentuk cairan besi cor kelabu menggunakan alat uji CE Meter lalu pada specimen besi cor kelabu di uji komposisi kimia dengan spectrometer kemudian di uji kekerasan dan foto mikro yang di ambil dari bagian yang kontak langsung dengan udara dan yang kontak langsung dengan cetakan FCD. Hasil penelitian berupa grafik yang di peroleh dari CE Meter menunjukkan temperatur 1356.8°C saat proses tapping awal di tuang dalam cetakan di mulai pada grafik yang terbaca CE Meter terjadi penurunan temperatur, pada temperatur liquid 1155.4°C bentuknya masih cair sampai temperatur solid 1113.6°C sehingga di peroleh nilai CEL=4,17% ; C=3,61% ; dan SI=2,21% di mana besi mulai padat namun masih berwarna merah hingga temperatur 1060°C dan mengeras dalam waktu 180 detik, sedangkan hasil uji komposisi kimia dalam bentuk solid atau padat antara lain : Fe 93,46% ; C 3,52% ; Si 1,84% dan unsure lainnya di bawah 1%. Hasil uji struktur mikro bagian specimen yang di uji kekerasan terlihat grafit dan sementit dan hasil uji kekerasan specimen pada bagian A=137.47, 542.65, 162.21, 173.65, 207.02, B=207.02, 168.06, 159.36, 263.85, 280.43. C=280.43, 206.28, 211.07, 235.28, 682.28. dan D=682.28, 235.37, 215.25, 168.67, 137.47 dan harga kekerasan tertinggi yaitu pada bagian C5 dan D1 sebesar 682.28, sedangkan harga kekerasan terendah yaitu pada bagian A1 dan D5 sebesar 137.47. Berdasarkan data tersebut dapat di simpulkan bahwa setiap bagian mempunyai tingkat kekerasan yang bervariasi, karena setiap titik atau bagian yang di uji mempunyai kandungan carbon yang berbeda-beda. Semakin tinggi kandungan carbon maka akan semakin tinggi tingkat kekerasannya serta mempengaruhi sifat fisis besi cor kelabu.

Kata kunci :Solidifikasi, molding FCD, spektrometer, struktur mikro, kekerasan.

Abstract

This research aims to know the rate of cooling on the solidification of gray cast iron in permanent mould for tapping earlier. This research uses a permanent mold cast iron ductile (FCD). Methodology this research was done by melting cast iron in induction furnace then pour in the mold of the FCD are already on preheating with a certain temperature for making grey cast iron specimen then tested the physical properties and mechanical. Testing in the form of grey cast iron using a liquid test CE Metres then in grey cast iron specimen in the test chemical composition with the spectrometer then tested the hardness and micro photographs taken of the direct contact with the air and direct contact with the mould the FCD. Research results in the form of graphs in the get from CE Meter shows the temperature 1356.8 ° C early in the process when tapping pour in mold at the start on the charts unreadable CE Meter temperature decline, at the temperature of liquid 1155.4 ° C liquid temperature until the shape is still solid 1113.6 ° C so that the values obtained in the CEL = 4.17%; C = 3.61%; and SI = 2.21% where the iron starts but still solid red until the temperature of 1060 ° C and harden within 180 seconds, while the chemical composition test results in the form of solid or solid, such as: Fe 93.46%; C 3.52%; SI 1.84% and other elements of under 1%. Test results of specimens that are part of the microstructure in uji violence visible graphite and sementit and hardness test results of specimens at the

A = 148.79, 542.65, 162.21, 173.65, 207.02. B = 207.02, 168.06, 159.36, 263.85, 280.43. C = 206.28, 280.43, 211.07, 235.28, 682.28. and D = 682.28, 235.37, 215.25, 168.67, 148.79 and price the highest violence in part C5 and D1 amounting to 682.28, while the lowest rates of violence in parts of the A1 and D5 of 148.79. Based on these data can be conclude that every part has a level of violence that in price, because every point or part that has the content of carbon in the test. The higher the carbon content then it will be the higher level of violence as well as affect the physical properties of grey cast iron.

Key words: Solidification, molding the FCD, spectrometer, microstructure, hardness.

1. PENDAHULUAN

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui tingkat kekerasan pada spesimen besi cor kelabu yang di dinginkan dengan udara bebas.

Pada tahap awal sebelum pengecoran dilakukan peleburan (*melting*) besi cor kelabu dengan komposisi gram 500kg, karbon 6kg, silikon 6kg dan slak secukupnya. Slak disini berfungsi untuk mengikat kotoran. Selanjutnya kotoran ini dibuang supaya logam cair dalam proses pengecoran tidak ada kandungan yang merusak kualitas besi cor. Setelah material masuk semua dalam tungku induksi, persiapan cetakan dimulai sambil menunggu material dalam tungku induksi melebur dan siap dituang. Cetakan yang kita gunakan adalah cetakan permanen yang dibuat dari besi cor *ductile*. Cetakan permanen ini harus dipanaskan (*preheating*) dulu sebelum dipakai untuk mencegah terjadinya ledakan saat penuangan logam cair.

Pamanasan cetakan dilakukan dengan menggunakan bara pada arang yang di bakar. Cetakan yang telah dipanaskan diukur temperaturnya dengan menggunakan termometer laser, sampai ke suhu yang di inginkan. Selanjutnya besi cor cair dari tungku induksi dituang dalam *ladle* (kowi) besar untuk menampung semua besi cor yang baru saja di lebur. Dari *ladle* (kowi) besar kemudian dituangkan kebanyak *ladle* kecil supaya mudah menuangkan dalam cetakan. Penuangan besi cor cair dalam cetakan juga disertai dengan penuangan dalam cup CE Meter untuk mengetahui laju pendinginan besi cor. Setelah proses penuagan, proses pembekuan atau *solidifikasi* besi cor di dikeluarkan dari cetakan lalu didinginkan dengan didiamkan di udara bebas. Setelah spesimen dingin, dilanjut dengan proses pemotongan. Pemotongan dilakukan di ATMI Solo dengan menggunakan mesin *wire cut*, supaya tidak merusak struktur permukaan dan spesimen menjadi rapi, dan halus pada bagian permukaan yang di potong. Setelah spesimen dipotong lalu diproses *mounting*, karena akan dilakukan pengujian, pengujian yang dilakukan yaitu pengujian komposisi kimia, struktur mikro, dan kekerasan.

Dari penjelasan diatas maka dilakukan penelitian dengan memanfaatkan udara bebas sebagai media pendinginan. Setelah spesimen dingin lalu dilakukan pengujian dan di ambil datanya. Guna untuk mengetahui tingkat kekerasan, serta unsur yang terkandung dalam spesimenyang telah di uji.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui laju pendinginan besi cor kelabu pada cetakan permanen.
2. Mengetahui sifat fisis dan mekanis besi cor kelabu pada laju pembekuan pada cetakan permanen dengan pendinginan udara bebas.

Penelitian ini dibatasi pada :

1. Material yang dipakai adalah besi cor di PT. Bonjor Jaya Klaten.
2. Data yang diambil adalah sifat fisis dan sifat mekanis.
3. Proses pengecoran pada besi cor kelabu dengan pendinginan udara bebas.
4. Pendinginan yang dilakukan dengan media udara bebas.

2. METODE

Pengecoran dapat diartikan sebagai suatu proses manufaktur dengan menggunakan material cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian-bagian dengan bentuk yang mendekati geometri akhir produk. Pengecoran dapat dilakukan menggunakan material yang berupa cair, contoh adalah material logam cair, termoplastik dan material lain yang dapat menjadi cair atau pasta ketika dalam kondisi kering.

Besi cor merupakan paduan besi yang mengandung karbon 2-4 % , Silikon 1,10 % , mangan 1-15%, fosfor 0,05-15% dan belerang. Unsur karbon dalam besi cor berupa sementit, karbon bebas atau grafit.besi cor mempunyai keuletan yang relatif rendah sehingga tidak dapat ditempa, diroll atau didrawing. Dari diagram Fe C percepatan pendinginan menghasilkan perubahan fisis.Penggunaan besi cor cukup luas karena besi cor ini memiliki sifat khusus seperti mudah dituang pada saat kondisi cair sehingga banyak digunakan di industri pengecoran logam. (Ricky septian 2012)

Cetakan permanen (*Permanent Mold*) yaitu cetakan yang dapat digunakan berulang-ulang dan biasanya dibuat dari logam. Cetakan permanen yang digunakan adalah cetakan logam yang biasanya digunakan pada pengecoran logam dengan suhu cair rendah. Coran yang dihasilkan

mempunyai bentuk yang tepat dengan permukaan licin sehingga pekerjaan permesinan berkurang.

Pembekuan logam adalah proses transformasi dari logam/paduan dalam keadaan cair menjadi padat, meliputi :

1. Kristalisasi fasa cair.
2. Segregasi zat pengotor dan unsur paduan.
3. Terbebasnya gas-gas yang larut dalam logam cair.
4. Adanya rongga-rongga akibat pengkerutan (*shrinkage cavity*).
5. Terbentuknya porositas gas.

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui harga kekerasan dari benda uji pada beberapa bagian sehingga dapat diketahui distribusi kekerasan rata-ratanya dari semua bagian yang di uji. Kekerasan merupakan ketahanan bahan terhadap goresan atau penetrasi pada permukaannya. Pengujian kekerasan terhadap benda uji dilakukan pada beberapa titik. untuk mengetahui kekerasan serta kekerasan rata-rata pada daerah tersebut. Alat yang digunakan dalam pengujian kekerasan adalah *Vickers Micro Hardness Tester*, Metode uji kekerasan Vickers menggunakan indentor berupa berlian (diamond), dalam bentuk piramida yang presisi dengan dasar persegi dan membentuk sudut 136 derajat pada puncak piramida. Beban yang digunakan berkisar antara 1 sampai 1000 g. Beban maksimal biasanya diterapkan dalam selang waktu 10 sampai 15 detik. Analisa kekerasan dilakukan setelah gaya tekan ditiadakan dan piramida-berlian diangkat dari bekas goresan yang terjadi (permukaan bekas goresan memiliki bentuk segi empat karena piramid merupakan piramid sama sisi). Goresan yang terjadi dilihat dengan menggunakan mikroskop dan dihitung secara teliti sebelum dijadikan nilai kekerasan dari bahan nilai kekerasan yang diperoleh dari uji kekerasan vickers disebut dengan HV atau HVN (*Vickers Hardness Number*).

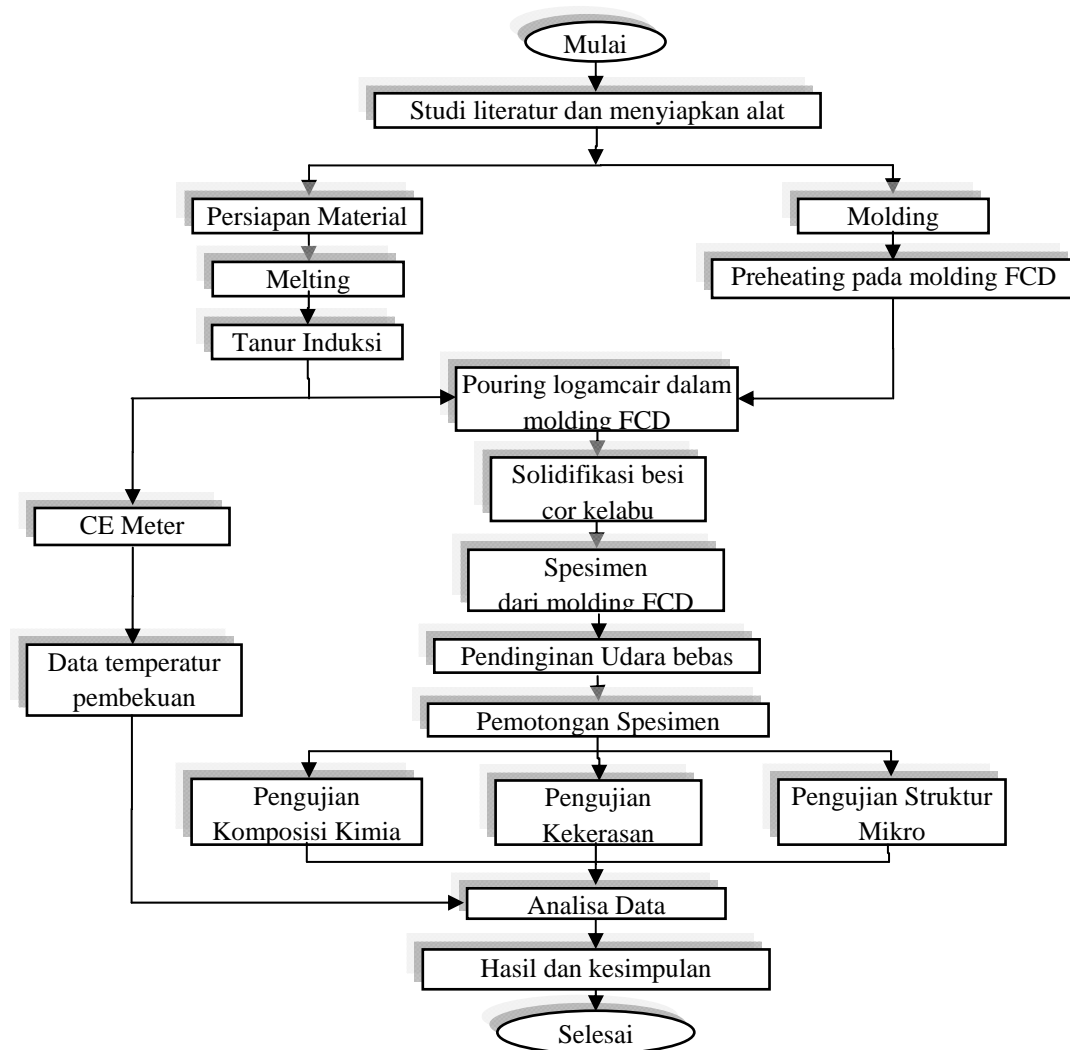
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengamati dan membandingkan secara fisik terhadap struktur mikro dari tiap-tiap bagian benda uji sebelum mengalami pengetsaan dan sesudah mengalami pengetsaan. Pemotretan baru dilakukan setelah penampakkannya sudah benar benar jelas atau fokus. Jumlah benda yang di foto struktur mikronya sama dengan jumlah permukaan benda uji yang di etsa (yang di uji kekerasannya) karena uji kekerasan dilakukan terhadap benda yang sudah diambil foto struktur mikronya. Stuktur mikro baru akan terlihat dengan jelas apabila permukaan benda uji sudah benar-benar rata, halus dan mengkilap tanpa

goresan, serta telah mengalami pengetsaan yang tepat. Pengamatan dilakukan di bawah mikroskop Olympus Metallurgical Microscope dengan pembesaran yang optimal, sedangkan untuk pemotretan dilakukan dengan tambahan alat Olympus Photomicrographic System.

Pengujian komposisi kimia ini bertujuan untuk mengetahui prosentase kandungan unsur-unsur paduan yang terdapat dalam benda uji. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji Spektrum Komposisi Kimia Universal (*spectrometer*) yang bekerja secara otomatis. Pengujian dilakukan dengan penembakan terhadap permukaan sampel uji (yang sudah dihaluskan) dengan gas argon. Penembakan dilakukan sebanyak 2 titik. Dalam penelitian uji komposisi kimia dilakukan di laboratorium POLMAN, Cepur Klaten.

2.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini langkah-langkah penelitian mengacu pada diagram alir berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Bahan yang perlu dipersiapkan dalam penelitian adalah: (a) Bahan untuk pemanas cetakan, meliputi : arang, korek api, minyak tanah, dll, (b) Cairan besi siap tuang di PT. Bonjor Jaya Klaten, (c) Untuk media pendinginan : oli, air dan udara bebas, (d) Kertas Amplas, (e) *Asam Nitrat* (HNO_3), (f) *Resin*, (g) Katalis (Pengeras Resin), (h) Autusol.

Alat yang perlu dipersiapkan dalam penelitian adalah (a) Tanur induksi PT. Bonjor Jaya Klaten, (b) CE Meter, (c) Cetakan Permanen FCD, (d) Stand untuk dudukan cetakan, (e) Cup dan Konektor penghubung CE Meter, (f) Termometer Laser, (g) Mikrometer skrup dan jangka sorong, (h) *Waterpass*, (i) Ladle (kowi) besar, (j) *Ladle* (kowi) kecil, (k) Mesin *Grinding*, (l) Mesin *Wire Cut*, (m) Alat uji *Spectrometer*, (n) Alat uji kekerasan *mikro vikers hardness tester* (o) Mikroskop optik *olympus metallurgical tester*, (p) Alat bantu lain, seperti : tang penjepit, kamera DSLR, pukul besi, ember, sekop, dll.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji CE Meter

Hasil uji CE meter pada besi cor kelabu bertujuan untuk mengetahui temperatur dan waktu solidifikasi serta perubahan unsur pada setiap tahap, mulai dari temperatur saat besi dituang, temperatur *liquid*, temperatur *solid*, dan temperatur saat besi membeku.

Pada hasil pengujian menggunakan CE meter diperoleh temperatur awal saat dituang dalam cetakan 1278.0°C , temperatur *liquid* 1154.2°C bentuknya masih cair, temperatur *solid* 1112.6°C dimana besi mulai padat namun masih berwarna merah hingga temperatur akhir 1060°C dimana besi telah beku.

Dengan data tersebut dapat diketahui *Carbon Equivalent Value* dengan rumus berikut:

$$CEV = \% C + \frac{(\% Si + \% P)}{3}$$

Dimana : CEV = *Carbon Equivalent Value*

C = Kandungan Karbon (%)

Si = Kandungan Silikon (%)

P = Kandungan Fosfor (%)

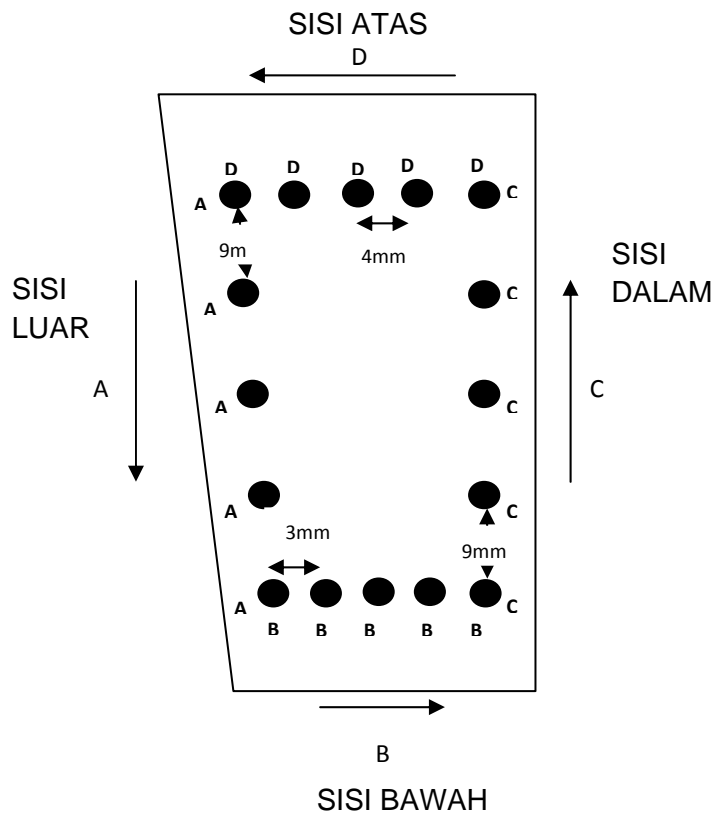
$$\text{Sehingga, } CEV = 3,60 + \frac{(2,28 + 0)}{3}$$

$$CEV = 4,36 \%$$

Dengan demikian dapat diketahui kalau persentase *Carbon Equivalent Value* diatas 4,3%. Besi cor dengan persentase Carbon equivalent di atas 4,3% disebut *hipereutektik*.

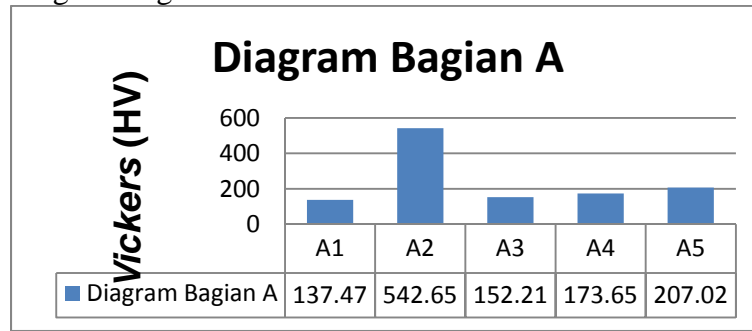
3.2. Pengujian Kekerasan (*Micro Vickers*).

Hasil pengujian kekerasan Vickers (*Vickers Micro Hardness Tester*) bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada setiap titik yang di ujikan pada spesimen, spesimen terdiri dari empat bagian bagian, yaitu A, B, C dan bagian D dan setiap bagian terdiri dari lima titik pengujian..



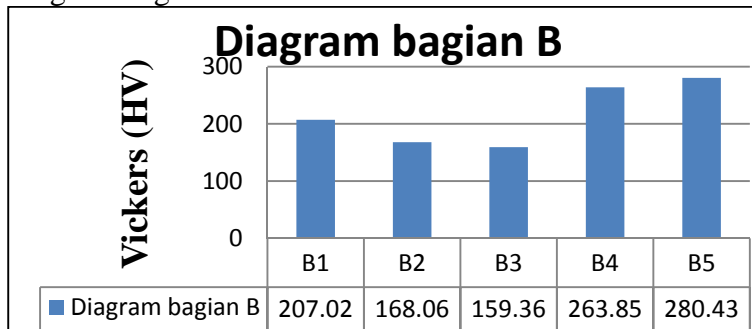
Gambar 2. Bagian Yang di Uji Kekerasan (*Vickers*).

Diagram bagian A



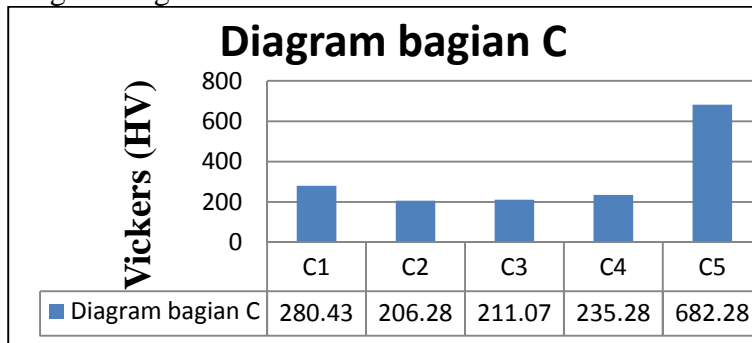
Gambar 3.Diagram harga kekerasan bagian A.

Diagram bagian B



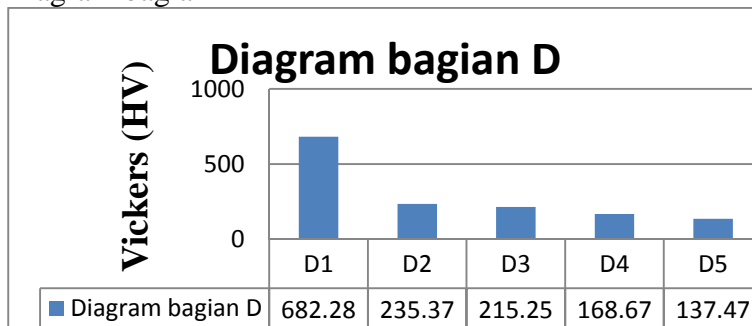
Gambar 4.Diagram harga kekerasan bagian B.

Diagram bagian C



Gambar 5.Diagram harga kekerasan bagian C.

Diagram bagian D

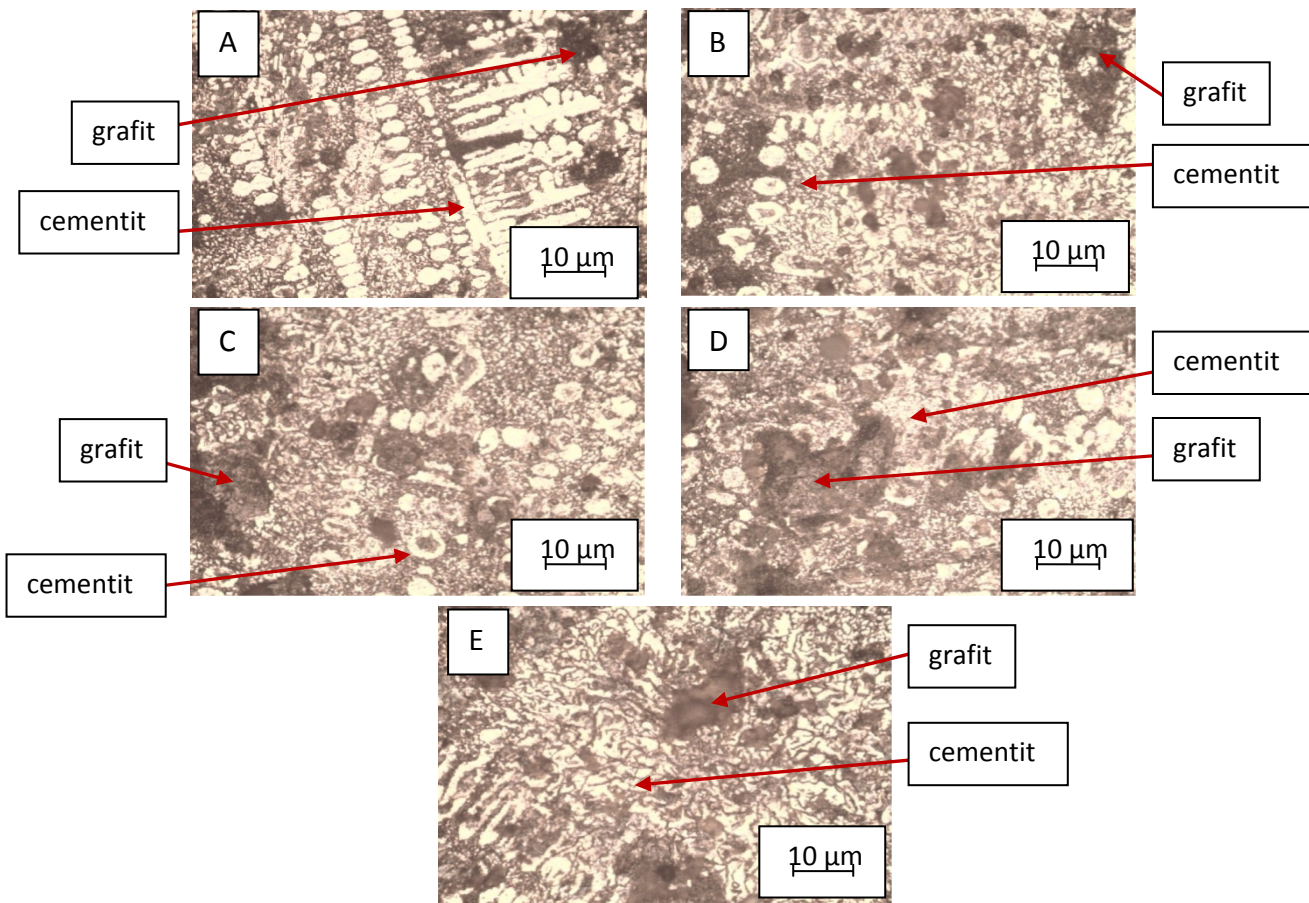


Gambar 6.Diagram harga kekerasan bagian D.

3.3 Pengujian Metalografi(Foto mikro)

Bagian yang diambil foto mikro adalah titik bekas hasil uji kekerasan mikro vickers untuk melihat sifat fisis pada kekerasan tertentu.

Foto mikro



Gambar 7. Gambar A foto micro bagian A1, gambar B foto micro bagian A2, gambar C foto micro bagian A3, gambar D foto micro bagian A4, gambar E foto micro bagian A5.

3.4 PengujianKomposisi Kimia

Tabel 1. HasilPengujianKomposisi Kimia.

No	KandunganUnsur	Sampel Uji	
		Spesimen Uji Bagian Atas	Standart Deviasi
1	Fe 2	93.46	0.0114
2	C	3.52	0.0171
3	Si	1.84	0.0156
4	Mn 1	0.412	0.0022
5	P	0.094	0.0082
6	S	0.036	0.0014
7	Cr 1	0.125	0.0023
8	Mo	0.047	0.0002
9	Ni 1	0.119	0.0011
10	Al	0.023	0.0003
11	B	0.0009	0.0001
12	Co	0.000	0.0000
13	Cu	0.013	0.0030
14	Mg	0.009	0.0001
15	Nb	0.003	0.0000
16	Pb	0.0044	0.0002
17	Sn	0.014	0.0005
18	Ti	0.000	0.0000
19	V	0.041	0.0249
20	W	0.053	0.0004

Dari tabel hasil uji spectrometer dapat disimpulkan, jenis besi cor pada spesimen. Maka besi cor kelabu tersebut termasuk pada jenis besi cor kelabu SC 150 menurut standar JIS.

3.5 Kutipan dan Acuan

Nugroho (2002) meneliti sifat fisis dan mekanis besi cor nodular / FCD 50 hasil pengecoran dengan material *steel scrap* tanpa inokulasi menunjukkan hasil pengujian kuat tarik masing-masing spesimen, yaitu : 525,48 N/mm²; 560,51 N/mm²; 560,51 N/mm². Untuk uji *impact*, masing-masing spesimen didapatkan harga *impact* , yaitu : 0,0375 J/mm²; 0,053 J/mm²; 0,053 J/mm². Melalui pengamatan struktur mikronya didapatkan fase *perlit* dan *ferit* serta terjadi pembulatan grafit. Dari hasil komposisi kimia didapatkan komposisi unsur dari spesimen benda uji berturut-turut sebagai berikut : Fe = 93,9%; C = 3,82%; Si = 2,37%; Mn = 0,4%; P = 0,040%; S = 0,021%; Mg = 0,029%; Cu = 0,0014%.

Stefanescu, Doru M. B., Jul (2007) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pembahasan tentang pengaruh pembekuan serpihan *grafit* mikro dan sifat mekanik dari *ASTM A-48* besi cor kelabu menggunakan cetakan baja *SKD 11*, baja karbon sedang *S45C* dan cetakan baja *hot-rolled SS400*.

Sifat mekanik *ASTM* struktural A-48 bahan besi cor kelabu sangat bergantung pada struktur mikro. Bagian *metalografi* diamati secara kuantitatif mengukur struktur mikro yang relevan parameter, sebagai *lamellargrafitmorfologi*, ukuran sel *eutektik* dan konten *inklusi*. Hasil berkorelasi dengan yang di ukur sifat mekanik : Konten *grafit* di kurangi meningkatkan kekuatan tank (Ganwarich Pluphrach, 2010).

(Akbari M, Buhl S, Leinenbach C, Spolenak R, Wegener K) Sebagian besar komponen otomotif sangat tergantung pada fenomena pembekuan. *Solidifikasi* pada dasarnya merupakan suatu proses pencapaian kristal padat dari lelehan cairan dengan memiliki zona pembekuan yang sangat tinggi di sebagian kecil volume tinggi padat dan pembentukan terkait pori-pori dan retak panas.

Klasifikasi jenis material paduan sangat diperlukan dalam industri mesin, tujuan utama dari penelitian yang dilakukan adalah untuk melihat sifat-sifat teknologi dan mekanik perbedaan antara besi cor kelabu dengan struktur *grafit* lamelar dan besi cor bulat dengan struktur *grafitnodular* (Kurytoa P, 2012).

Besi cor kelabu di pakai pada bagian-bagian mobil seperti blok silinder, tutup silinder, rumah engkol, selubung silinder, roda daya, tromol rem, penggunaan pada mesin hidrolis seperti pompa, turbin, rumah-rumah, pengalir dan lain-lain (Surdia Tata, 1991).

Sifat fisis dan mekanis dari proses pembekuan atau *solidifikasi* dari proses pengecoran besi cor kelabu dengan *molding* baja. Pendinginan cepat di lakukan tidak dengan *heat treatment* yang sering di lakukan melainkan dengan menggunakan *molding* baja, sedangkan bagian atas pendinginan kontak langsung dengan udara. Peleburan besi di gunakan dapur induksi, yaitu dapur peleburan yang sederhana dengan sistem seperti dapur *kupola*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil analisa, pengujian spesimen dan pembahasan data yang diperoleh, maka dapat ditarik suatu kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan data hasil pengujian yang diperoleh dari CE meter temperatur awal saat dituang dalam cetakan 1278.0°C , temperatur *liquid* 1154.2°C bentuknya masih cair, temperatur *solid* 1112.6°C dimana besi mulai padat namun masih berwarna merah hingga temperatur akhir 1060°C dimana besi telah beku dan mengeras dalam waktu 180 detik.
2. Harga kekerasan pada spesimen yang di uji menggunakan *Vickers Micro Hardness Tester* sangat bervariasi pada setiap bagian, pada bagian A, bagian yang kontak langsung dengan molding bagian samping sebesar = 137.47, 542.65, 152.21, 173.65, 207.02, B bagian yang kontak langsung dengan molding bagian bawah sebesar = 207.02, 168.02, 159.36, 263.85, 280.43, C bagian tengah spesimen yang telah dibelah sebesar = 280.43, 206.28, 211.07, 235.28, 682.28, dan D bagian yang kontak langsung dengan udara bebas sebesar = 682.28, 235.37, 215.25, 168.67, 137.47 dan didapat kekerasan tertinggi sebesar 682.28 HV, dan terendah 137,47 HV. Pada pengujian *metalografi* atau pengamatan struktur mikro ditemukan struktur grafit dan sementit. Hasil uji komposisi kimia terdapat 20 unsur kimia dengan kadar yang berbeda.

Saran

Dalam penelitian selanjutnya, penulis mempunyai beberapa saran yang dapat digunakan untuk proses pengembangan dan pembuatan besi cor kelabu pada cetakan permanen untuk pengembangan tapping awal, yaitu :

1. Melakukan study literatur tentang teknik pengecoran sebagai referensi pendukung.
2. Memperhatikan persiapan alat dan bahan guna mendapatkan waktu yang tepat dan hasil yang baik.
3. Saat proses penelitian berjalan koordinasi dalam tim sangatlah penting baik dalam pembuatan dokumentasi, pembuatan spesimen, dan proses pengujian spesimen, guna mendapatkan data yang akurat.
4. Memperhatikan tingkat kekerasan pada setiap titik yang di uji, karena penelitian ini berkonsentrasi pada analisa kekerasan, begitu juga untuk pengujian yang lainnya.
5. Melakukan pengujian lebih dari satu kali atau berulang, guna untuk mendapatkan hasil yang lebih valid.

PERSANTUNAN

Syukur alahamdulillah, penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya sehingga penyusunan laporan penelitian ini tugas akhir berjudul “PENGARUH PENDINGINAN UDARA TERHADAP KEKERASAN DARI PROSES SOLIDIFIKASI BESI COR KELABU DENGAN CETAKAN PERMANENEN “ dapat terselesaikan atas dukungan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis dengan segala ketulusan dan keikhlasan hati ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Sri Sunarjono, MT, Ph.D, sebagai dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Ir. Tri Widodo Besar Riyadi, ST, M.Sc, Ph.D, selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Agus Yulianto, ST, MT, selaku pembimbing utama yang telah mengarahkan, memberi ilmu serta membimbing dalam penyusunan tugas akhir ini dengan bijaksana, sabar, baik dan ramah.
4. Bapak Dr. Supriyono, selaku dosen pembimbing pendamping yang telah membimbing dan mengoreksi dalam penyusunan tugas akhir ini dengan baik, sabar dan ramah.
5. Bapak Ir. Sunardi Wiyono, MT, sebagai koordinator seminar tugas akhir yang telah memberikan pengesahan serta persetujuan untuk dilaksanakannya seminar tugas akhir dengan baik dan benar.
6. Semua dosen Teknik Mesin yang telah memberikan banyak ilmu dan dorongan yang sangat membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini dengan baik.
7. Bapak serta Ibu tercinta yang tiada henti memberikan dukungan, motivasi, dan doa kepada penulis dari awal hingga terselesainya penyusunan tugas akhir ini.
8. Teman-teman satu kelompok seperjuangan, satu angkatan Teknik Mesin 2011, terimakasih atas dukungan dan bantuannya.

Penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun akansangat bermanfaat bagi penulisan laporan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Abdan Syakura, 2011. “*Proses Pengecoran Vakum dan Mikrostruktur Paduan*”, Skripsi S-1, Universitas Indonesia, Depok.

- Akbari M, Buhl S, Leinenbach C, Spoleak R, Wagener K. *Sebagian besar komponen otomotif sangat tergantung pada fenomena pembekuan.*
- Amanto, Hari, dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*, Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- Andre Nainggolan. “Sejarah Pengecoran Logam”. 24 Oktober 2011. <http://tugasmechanicalengineering.blogspot.com/2011/10/sejarah-pengecoran-logam.html> 02 Juni 2016./ 19:46
- Arostead BH. *Teknologi Mekanik Jilid 1 / Oleh : B.H Arostead, Philip F. Ostwald, Myron L. Begeman : Contoh Contoh Gambar Mikro.*
- ASM, *Metals Handbook Volume 4 Forming*, ASM Handbook Committee, America 1991.
- De Garmo, E. Paul, 1981. *Material and Processes In Manufacturing*, edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- Dieter, G. E dan Sriati Djaprie, 1993, *Metalurgi Mekanik*, Jilid 1, Edisi Ketiga, PT. Erlangga, Jakarta.
- Doru M. Stefanescu *The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA* 2005.
- Dunia Erie, “Besi Cor Kelabu”. 19 July 2010. <http://mantantukanginsinyur.blogspot.co.id/2010/07/19/besi-cor-kelabu.html> 14 Juli 2016./ 17:03
- E. Paul De Garmo, “*Material and Processes in Manufacturing*”. 1 January 1997. <https://www.amazon.com/materials-processes-manufacturing-paul-degarmo/dp/0023286210> 16 Juli 2016./ 20:06
- Muryanto, 2011. “*Pengaruh Quench Dan Tempering Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Baja Hadfield Hasil Pengecoran PT. Baja Kurnia*”, Tugas Akhir S-1, UMS, Surakarta.
- Nanda, Chorul, “*Pengaruh Preheating*”. 15 Januari 2005. <http://nandachoirul.blogspot.co.id/2014/10/proses-pengecoran-bagian-1-gating-system.html> 23 Juli 2016./ 19:22
- Smallman, R.E. 1985. *Modern Physical Metallurgy*, fourth edition.
- Stefanescu, Doru M. B., Juli 2007, “*Modeling Of Cast Iron Solidification*” Tata McGraw Hill, 7 West Patel Nagar, New Delhi 110 008.
- Suherman.W, 1987. *Pengetahuan Bahan*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.